



(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Patentschrift

DE 100 29 299 C 2

(51) Int. Cl. 7:

F 01 L 3/20

F 01 L 3/02

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(21) Patentinhaber:

DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

(22) Erfinder:

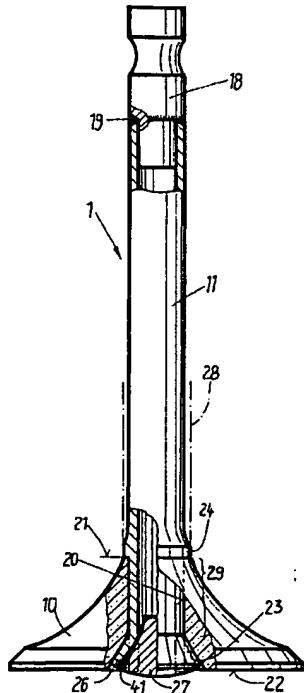
Hora, Pavel, Dipl.-Ing., 70806 Kornwestheim, DE;
Thiemann, Karl-Heinz, Dipl.-Ing., 71404 Korb, DE;
Schlegel, Martin, Dr.-Ing., 71394 Kernen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	40 14 072 A1
GB	4 89 384
US	21 36 690
EP	02 96 619 A1
EP	8 98 055 A1

(54) Mehrteilig zusammengesetztes Ventil für Hubkolbenmaschinen

(55) Mehrteilig zusammengesetztes Ventil für Hubkolbenmaschinen, mit einem Ventilschaft aus einem schweißbaren und warmfesten Werkstoff und einem Ventilteller, welche Ventileile sowohl in Druck- als auch in Zugrichtung auf rein formschlüssige Weise dauerhaft miteinander verbunden sind, indem der Ventilteller mit einer axial durchgehenden Mittenöffnung zur Aufnahme des tellerseitigen Ventilschaftendes und mit einem Bund oder einer ringförmigen Anlagefläche des Mittenöffnungrandes versehen ist, welcher Bund an einer die Einstechtiefe begrenzenden Schulter des in die Mittenöffnung eingesteckten Ventilschafts anliegt, indem ferner das tellerseitige Ende des Ventilschaftes an oder in der brennraumseitigen Begrenzungskontur der Mittenöffnung in einer die Begrenzungskontur formschlüssig übergreifenden und/oder ausfüllenden Weise aufgeweitet ist, gekennzeichnet durch eine Leichtbauweise des Ventils mit einem massiven Ventilteller (10, 10', 10'') und einem aus einem Rohrhalzeug gebildeten, rohrförmigen Ventilschaft (11, 11', 11'', 12, 12'), der an dem dem Ventilteller (10, 10', 10'') gegenüberliegenden Ende durch ein angeschweißtes Ventilschaftstück (18) einerseits verschlossen ist, wobei die tellerseitige Aufweitung (26, 26', 26'') des Endes des rohrförmigen Ventilschaftes (11, 11', 11'', 12, 12') durch einen in die Aufweitung (26, 26', 26'') eingeschweißten oder hart eingelöteten, formangepaßten Stützkörper (27, 27', 27'', 27''') in ihrer Form dauerhaft stabilisiert sowie fixiert und der rohrförmige Ventilschaft (11, 11', 11'', 12, 12') tellerseitig gasdicht verschlossen ist.



DE 100 29 299 C 2

DE 100 29 299 C 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung geht aus von einem mehrteilig zusammengesetzten Ventil für Hubkolbenmaschinen nach dem Oberbegriff von Anspruch 1, wie es beispielsweise aus der US-PS 2 136 690 als bekannt hervorgeht.

[0002] Die EP 296 619 A1 zeigt ein mehrteilig zusammengesetztes Leichtbauventil, dessen bauliche Komponenten aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen. Der kegelförmige, massive Ventilteller soll bevorzugt aus der intermetallischen Phase Titanaluminid bestehen, wobei auch mehrere Metalle zur Bildung einer ternären intermetallischen Phase vorgesehen werden können. Als drittes Metall wird eines aus der Gruppe Nickel, Niob, Wolfram, Vanadium, Mangan und Bor vorgeschlagen. Der Ventilteller kann aus dem gewählten Werkstoff u. a. durch Präzisionsgießen hergestellt werden. Daneben wird auch Schmieden, Extrudieren oder isostatisches Heißpressen eventuell in Verbindung mit einer Wärmebehandlung und einer spangebenden Bearbeitung erwähnt. Der fertige Ventilteller ist oberseitig mit einer Sacklochbohrung zur Aufnahme des tellerseitigen Schaftendes versehen, das in der Sacklochbohrung durch Aufschrumpfen, kalt Einpressen, Löten, durch eine mechanische Verbindung oder durch Kombinationen dieser Verbindungstechniken befestigt sein kann. In einem dort zeichnerisch dargestellten Fall ist die Leibung der Sacklochbohrung gewellt ausgebildet, wobei die endseitige Wandung des Schaftröhres unter dem Einfluß von Druck und örtlicher Erwärmung aufgeweitet werden und sich dabei formschlüssig in die bohrungsseitigen Wellen einlegen soll. Für den röhrförmigen Ventilschaft wird als Werkstoff insbesondere Chrom-Molybdän-Stahl vorgeschlagen. Mehr beiläufig ist in diesem Zusammenhang auch erwähnt, daß der Ventilschaft aus dem gleichen Werkstoff wie der Ventilteller bestehen kann, wobei in diesem Fall für beide als Werkstoff die Titan-Basislegierung Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo empfohlen wird. Das mit einem kleinen Zapfen in den röhrförmigen Ventilschaft hineinragende Schaftendstück stützt sich über eine Schulter am Rohrende ab. Die Verbindung zwischen Schaftendstück und Ventilschaft kann von gleicher Art wie die Verbindung zum Ventilteller sein. Als Werkstoff für das Schaftendstück wird neben einer Keramik vor allem ein temperaturbeständiger martensitischer Stahl vorgeschlagen.

[0003] Nachteilig an dem aus der EP 296 619 A1 bekannten Hohlventil ist, daß die nicht geschweißte Verbindung zwischen Ventilschaft und Ventilteller unter den sowohl in thermischer als auch in mechanischer Hinsicht erheblichen statischen und dynamischen Belastungen nicht ausreichend haltbar ist. Es können Temperaturschwankungen von -20°C bis etwa 900°C auftreten, die z. T. in kurzer Zeit durchlaufen werden und wobei die hohen Temperaturen u. U. über lange Zeit wirken können. Zum anderen ist die Verbindungsstelle zugleich hohen dynamischen und statischen Belastungen auch in Zugrichtung ausgesetzt. Dieses Belastungskollektiv kann nach relativ kurzer Betriebsdauer der Brennkraftmaschine zu einem Lösen der Verbindung zwischen Ventilschaft und Ventilteller führen, was für die Brennkraftmaschine einen sofortigen Ausfall und eine völlige Zerstörung zu Folge haben würde. Deshalb haben sich derartige gebaute, aus nicht unmittelbar verschweißbaren Komponenten zusammengesetzte Ventile nach dem Kenntnisstand der Anmelderin in der Praxis bisher nicht bewährt.

[0004] Bei dem aus der EP 898 055 A1 bekannten, dreiteilig zusammengesetzten Leichtbauventil bestehen die drei Ventileile aus unterschiedlichen Stählen, nämlich aus einem ferritisch-martensitischen Stahl für das ventiltrieb-seitige Schaftende und aus einem tiefziehfähigen austenitischen, d. h. bei hohen Temperaturen korrosionsbeständigen

Stahl für den Schaftteil. Für den Ventilteller wird zwar kein Werkstoff genannt, jedoch soll das tellerseitig trompetenförmig aufgeweitete Schaftende am Außenrand des Ventiltellers mit einer Schmelzschweißung verschweißt werden. Der Ventilteller muß also mit dem austenitischen Stahl des Schaftteils ohne weiteres schmelzschweißbar sein, weshalb anzunehmen ist, daß auch der Ventilteller funktionsbedingt aus einem bei hohen Temperaturen korrosionsbeständigen, also austenitischen Stahl besteht. Der bei der Schmelzschweißung zugegebene Schweißwerkstoff dient zugleich als Panzerungswerkstoff für den tellerseitigen Ventilsitz. Das axial teilweise hohlgebohrte Schaftende wird durch eine Reibschiweißung mit dem anderen Ende des hohlen Ventilschaftes verschweißt, wobei der innenseitige Schweißwulst dazu ausgenutzt wird, die Ventilhöhlung an der Schweißstelle abzuschließen, um einen ungehinderten Wärmeaustausch bis zum Schaftende zu unterbinden und die dort am Ventilschaft gleitenden Oldichtungen thermisch zu entlasten. Hier wird – abgesehen von den Fertigungsvorteilen einer Reibschiweißung – der bei einer Reibschiweißung entstehende Schweißwulst geschickt für Funktionszwecke des Ventils ausgenutzt.

[0005] Nachteilig an dem aus der EP 898 055 A1 bekannten Leichtbauventil ist neben dem spezifisch schweren Stahl auch der hohe Umformgrad des Schaftwerkstoffes, der – selbst wenn man von einem Rohr als Vorprodukt des Schaftteiles ausgeht – eine Durchmesseraufweitung etwa auf das sechsfache erfordert, wobei die Wandstärke nicht – oder höchstens nur unwesentlich – reduziert werden und darüber hinaus selbstverständlich auch nicht einreissen darf. Wird hingegen der Schaftteil – was aufgrund des Wortlautes der gewürdigten Literaturstelle eher nahelegt ist – aus einem ebenen Blech durch Tiefziehen hergestellt, so sind die Umformgrade noch viel höher. Solche hohen Umformgrade sind prozeßtechnisch nur mit sehr hohem Aufwand beherrschbar und lassen geringe Produktionskosten nicht erwarten.

[0006] Die eingangs genannte US-PS 2 136 690 zeigt u. a. ein mehrteilig zusammengesetztes Vollschaftventil, bei dem der Ventilsitz mit einem verschleißfesten Werkstoff gepanzert ist. Die Panzerung besteht aus einer vorgefertigten, zentrisch gelochten und am Außenrand angefassten Scheibe aus einem widerstandsfähigen und gut wärmeleitenden Verbundwerkstoff. Die Panzerungsscheibe ragt bis zum Rand des Ventiltellers und bildet die tellerseitige Dichtfläche. Der Verbundwerkstoff ist durch eine Matrix aus einem zähen und leitfähigen, vorzugsweise Kupfer enthaltenden Metall gebildet, in die fein verteilt Partikel eines extrem harten und widerstandsfähigen Werkstoff wie z. B. Wolfram fest haften eingelagert sind. Diese Hartpartikel sollen nicht nur die Matrix schützen, sondern auch eine Zerstörung der Ventil-Dichtflächen verhindern oder zumindest verzögern. Bei dem vorbekannten Ventil ist die der Panzerung dienende Scheibe gemeinsam mit einer brennraumseitig aufgelegten Stützscheibe aus herkömmlichen Ventilwerkstoff an das tellerseitige Ende des Ventilschaftes angenietet, wobei der Schaftwerkstoff als Niet dient. Zur axialen Abstützung des aus Panzerungsscheibe und Stützscheibe bestehenden Ventiltellers ist am Ventilschaft eine Schulter angeschmiedet. Das tellerseitige Ende des Ventilschaftes ragt mit einem als Nieten-schaft dienenden Zapfen durch die zentrische Öffnung der beiden Scheiben hindurch, wobei das äußerste Ende dieses Zapfens zu einem in einer Anenkung der Stützscheibenöffnung sich erstreckenden Nietsenkkopf umgeformt ist. Zwar ist der Ventilteller aufgrund der in beiden Wirkrichtungen der Axialkraft – Druck und Zug – formschlüssig mit dem Ventilschaft verbunden und somit die Fügestelle durch die im Motorbetrieb auftretenden thermischen und mechani-

schen Belastungen schadlos und dauerhaft belastbar. Nachteilig an dem vorbekannten Ventil ist jedoch zum einen sein hohes, auf den Vollschaft zurückzuführendes Gewicht. Der Vollschaft seinerseits ist durch die Verbindungstechnik bedingt. Nachteilig ist ferner, daß an den Ventilschaft eine radial relativ breite Schulter angestaucht werden muß, deren radiale Breite bei dem im Stand der Technik dargestellten Ausführungsbeispiel etwa ein drittel des Schaftdurchmessers entspricht. Die angestauchte Schulter übernimmt nicht nur die Funktion einer axialen Abstützung des mehrlagigen, flachscheibenförmigen Ventiltellers, sondern aufgrund des fließenden Überganges vom Schaftquerschnitt auf den Schulterumfang auch die Funktion eines Strömungsleitkörpers auf der umströmten Oberseite des Ventiltellers.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, das gattungsgemäß zugrundegelegte Ventil in der Weise als Leichtbauventil auszugestalten, daß es sowohl bezüglich seiner einzelnen Komponenten als auch insgesamt nicht nur kostengünstig und rationell herstellbar ist, sondern daß es auch den im Motorbetrieb auftretenden thermischen und mechanischen Belastungen dauerhaft standzuhalten vermag.

[0008] Diese Aufgabe wird bei Zugrundelegung des gattungsgemäß Leichtbauventils erfundungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale von Anspruch 1 gelöst.

[0009] Aufgrund der neuartigen Ausgestaltung der Fügestelle zwischen Ventilteller und Ventilschaft ist es möglich, den Ventilteller auch an einen hohlen Ventilschaft bezüglich beider Wirkrichtungen der Axialkraft – Druck und Zug – formschlüssig zu verbinden, so daß die Fügestelle die im Motorbetrieb auftretenden thermischen und mechanischen Belastungen schadlos und dauerhaft zu ertragen vermag. Durch die Verwendung von Rohrhalzeugen für den Ventilschaft kann der sonst übliche beträchtliche Aufwand für das Hohlbohren eines zunächst massiven Ventilschaftes entfallen. Das Erzeugen einer so langen und schlanken Bohrung – etwa 12 cm lang und etwa 3,5 mm im Durchmesser – in einem zähen Werkstoff ist nämlich zeit- und kostenintensiv. Außerdem sind bei Einsatz von Rohrhalzeugen geringere Wandstärken realisierbar als durch Bohren, was nicht nur dem Endgewicht des Leichtbauventils zugute kommt, sondern auch der Wärmeabfuhr im Falle eines z. B. durch Natrium gekühlten Ventils. Die gesonderte Fertigung von Ventilteller einerseits und Ventilschaft andererseits erlaubt diesbezüglich nicht nur eine jeweils beanspruchungsorientiert gezielte und optimierte Werkstoffwahl für jedes dieser Teile, sondern es können auch die für die jeweiligen Teil-Werkstücke optimalen Halbzeuge und Fertigungsverfahren eingesetzt werden. Die dazu erforderlichen Füge- und Umformvorgänge sind rationell und prozeßsicher durchführbar, so daß ein solches mehrteiliges Leichtbauventil in einer Serienfertigung bei geringen Kosten herstellbar ist. Es darf ohne weiteres als realistisch angesehen werden, daß die Herstellungskosten eines erfundungsgemäß Leichtbauventils bei höherer Prozeßsicherheit höchstens gleich hoch, eher geringer sind, als die für die Herstellung eines herkömmlichen Stahlventils in Vollquerschnitt-Ausführung. Beim erfundungsgemäß Leichtbauventil wird der Ventilteller als kompaktes, flaches Einzelteil gesondert hergestellt, was auch bei nur schwierig bearbeitbaren oder verarbeitbaren Werkstoffen problemlos möglich ist. Demgegenüber muß bei der konventionellen Ventilproduktion ein T-förmig sperriges Teil mit einseitiger Massenkonzentration hergestellt werden, was schon mit einem üblichen Ventilstahl nicht ganz einfach und billig ist. Es muß nämlich dabei an eine Stange endseitig eine Verdickung für den Ventilteller schmiedetechnisch angestaucht werden, was zumindest bei einer hochproduktiven Massenfertigung wegen der in engen Grenzen einzuhaltenden Prozeßparameter prozeßtechnisch

nicht ganz einfach zu beherrschen ist und deshalb immer wieder zu Ausschuß führt. Der meßtechnische Überwachungsaufwand ist dabei sehr groß. Dieses Anstauchen eines Tellerrohlings an einen Schaftröhling und die damit einhergehenden Probleme entfallen bei der Herstellung des erfundungsgemäß Leichtbauventiles. Im übrigen sind die Teil-Werkstücke für sich sehr einfach, nämlich stab- bzw. scheibenförmig, ausgebildet und aufgrund dieser Einfachform für sich einfacher herstellbar als ein vergleichsweise sperrig T-förmiges und mit einseitiger Massenkonzentration versehenen Komplet-Ventil. Der beim erfundungsgemäß ausgebildeten Leichtbauventil zwar zusätzlich erforderliche Montagevorgang von Schaft und Ventilteller ist jedoch in allen Phasen prozeßtechnisch einfach und rationell durchführbar sowie prozeßsicher beherrschbar.

[0010] Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung können den Unteransprüchen entnommen werden; im übrigen ist die Erfindung anhand mehrerer in den Zeichnung dargestellter Ausführungsbeispiele nachfolgend noch erläutert; dabei zeigen:

[0011] Fig. 1 eine Schnitt-Ansicht durch bzw. auf ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfundungsgemäß ausgestalteten Leichtbauventils,

[0012] Fig. 2 eine partielle Schnitt-Ansicht durch bzw. auf ein zweites Ausführungsbeispiel eines Leichtbauventils, bei dem die Schaftverweiterung auf der Flachseite des Ventiltellers und im übrigen eine Dehnstrecke zur Kompensation unterschiedlicher Temperaturausdehnungen zwischen den verbundenen Bauteilen und/oder zur Aufrechterhaltung einer axialen Vorspannung zwischen ihnen vorgesehen ist,

[0013] Fig. 3a bis 3c drei verschiedene Phasen beim Fügen von Ventilschaft und Ventilteller durch ein Reibschießverfahren und

[0014] Fig. 4a bis 4d vier verschiedene Phasen beim Fügen von Ventilschaft und Ventilteller durch Einpressen und Einschweißen einer Kugel als Stützkörper.

[0015] Vorab sei kurz auf die Gemeinsamkeit der verschiedenen, in den Fig. 1, 2, 3c oder 4d dargestellten Ausführungsbeispiele von Leichtbauventilen (Bezugszahlen 1 bis 4) für Hubkolbenmaschinen eingegangen. Sie alle sind mehrteilig zusammengesetzt und weisen einen massiven Ventilteller 10, 10', 10" mit einer Mittenöffnung 20 zur formschlüssigen Aufnahme des tellerseitigen Endes des zugehörigen Ventilschaftes 11, 11', 11", 12, 12' auf. Am oberseitigen Ende sind die rohrförmigen Ventilschäfte mit einem Ventilschaftendstück 18 verschlossen, was jedoch nur in Fig. 1 dargestellt ist. Die genannten Ventileile sind dauerhaft miteinander verbunden.

[0016] Nachdem die Ventilschäfte und Ventilschaftendstücke aus einem schweißbaren Werkstoff bestehen, sind diese beiden Teile durch eine Umgangsnaht 19 miteinander verschweißt, was bevorzugt durch eine Laserschweißung erfolgt. Auch andere bekannte Schweißungen oder Hartlötzungen sind hier denkbar, z. B. Elektronenstrahlschweißung. Es ist insbesondere auch eine Reibschießung möglich, wobei hierfür allerdings der Übergang vom Ventilschaftendstück zum rohrförmigen Ventilschaft reibschießgerecht, d. h. ohne oder mit einem nur sehr kurzen Zentrierzapfen oder mit einem rohrförmigen Ansatz, gestaltet sein müßte. Auswahlkriterien für das einzusetzende Schweißverfahren ist zum einen die Prozeßsicherheit des Verfahrens und der Schweißqualität, die Automatisierbarkeit des Schweißverfahrens und die stückbezogenen Produktionskosten.

[0017] Unabhängig von der Verwendung des Leichtbauventils als thermisch weniger belastetes Einlaßventil oder als thermisch höher belastetes Auslaßventil sind zumindest das obere Ende des Ventilschafts und das Ventilschaftendstück thermisch nicht extrem belastet. Deshalb ist die Ver-

bindung zwischen diesen beiden genannten Teilen als weniger kritisch anzusehen. Hier treten im wesentlichen hohe mechanische, dynamische Belastungen durch das rasche periodische Öffnen und Schließen des Ventils auf. Bei "gebauten" Ventilen anderer Ausgestaltung haben sich bekannte Schweißtechniken am oberen Ventilschaftende bewährt und können auch bei der vorliegenden Leichtbauform durchaus erfolgversprechend eingesetzt werden. Auch sind an dieser Stelle die für die Verwendung in Ventilen bekannte Stähle mit Erfolg einsetzbar.

[0018] Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß der Hohlraum von Leichtbauventilen häufig mit einem Kühlmedium, vorzugsweise mit Natrium, partiell gefüllt wird, zumindest wenn sie als thermisch stärker beanspruchte Auslaßventile eingesetzt werden. Auf diese Kühlmittelfüllung kommt es jedoch vorliegend nicht wesentlich an, weshalb nachfolgend nicht weiter darauf eingegangen zu werden braucht. Nachdem bei dem erfindungsgemäß ausgebildeten Leichtbauventil das Verschließen der tellerseitigen Öffnung des rohrförmigen Schaftendes zusammen mit dem Montagevorgang von Teller und Schaft, also in einem relativ frühen Stadium der Fertigstellung des Leichtbauventils erfolgt, das Kühlmittel gegebenenfalls jedoch in einem möglichst späten Fertigungsstadium eingebracht werden soll, wird man zweckmäßigerweise das Kühlmittel am tellerabgewandten Schaftende einführen und das Ventilendstück 18 als letztes Teil in das entstehende Leichtbauventil einfügen. Auf eine Besonderheit der vorliegenden Erfindung sei im übrigen in diesem Zusammenhang besonders hingewiesen: Die Erfindung ermöglicht ohne weiteres die Herstellung eines natrium-gekühlten Keramiktellerventils, was nach Wissen der Anmelderin absolut ungewöhnlich ist.

[0019] Für den Ventilschaft eines thermisch stärker beanspruchten Auslaßventils wird z. B. als duktiler Werkstoff ein hochwarmfester Chrom/Nickel-Stahl empfohlen. In diesem Zusammenhang wird vor allem an einen Ventilstahl mit der Bezeichnung 1.4571 oder X6CrNiMo_17_12_2 gedacht, der aus 0,06 Gew.-% Kohlenstoff, 17 Gew.-% Chrom, 12 Gew.-% Nickel, 2 Gew.-% Molybdän und Rest Eisen besteht.

[0020] Für ein thermisch weniger stark beanspruchtes Einlaßventil wird als Schaftwerkstoff ein korrosionsbeständiger Stahl empfohlen, z. B. ein Stahl (A) mit der Bezeichnung 1.4006 oder X10Cr13, ein Stahl (B) mit der Bezeichnung 1.4113 oder X6CrMo171 oder ein Stahl (C) mit der Bezeichnung 1.4301 oder XBCrni18_10. Die genannten Stähle sind Eisenbasislegierungen, die im wesentlichen folgende Gehalte an Nicht-Eisen-Komponenten in Gewichtsprozent haben:

Stahl (A): 0,10% Kohlenstoff, 13% Chrom.

Stahl (B): 0,06% Kohlenstoff, 17% Chrom, 1% Molybdän.

Stahl (C): 0,08% Kohlenstoff, 18% Chrom, 10% Nickel.

[0021] Diese Werkstoffempfehlungen gelten im Prinzip auch für das Ventilendstück 18, wobei hier in der Tendenz ein thermisch zwar weniger stark, dafür aber tribologisch stärker beanspruchbarer Werkstoff zu wählen ist, beispielsweise der konventionelle Ventilstahl X45CrSi9_3 mit 0,45 Gew.-% Kohlenstoff, 9 Gew.-% Chrom, 3 Gew.-% Silizium und Rest Eisen.

[0022] Kritischer als die bereits erwähnte Verbindung der Ventileite im Bereich des Schaftendes ist die Werkstoffwahl und die Verbindung der Teile des "gebauten" Ventils im Bereich des Ventiltellers 10, weil dieser Bereich zusätzlich erheblichen thermischen und in soweit auch stark wechselnden Belastungen ausgesetzt ist, insbesondere wenn das Leichtbauventil als thermisch höher beanspruchtes Auslaßventil eingesetzt werden soll. Aus diesem Grund sind für den unteren Teil des Leichtbauventils mehrere Varianten –

z. T. im Zusammenhang mit Bilderfolgen für Fügeverfahren – dargestellt, auf welche Ventilvarianten nachfolgend näher eingegangen werden soll.

[0023] Zunächst seien vorab die Übereinstimmungen der verschiedenen Ausführungsbeispiele erläutert: Die erfindungsgemäße Fügetechnik des "gebauten" Leichtbauvents schafft eine Freizügigkeit bezüglich der Werkstoffauswahl, insbesondere hinsichtlich des Ventiltellers 10, 10', 10". Es kann sich dabei um einen nicht schweißbaren Werkstoff 10 oder um einen solchen handeln, der nicht mit dem Werkstoff des Ventilschafts verschweißbar ist. Auf die Werkstoffauswahl gehen die verschiedenen, zeichnerisch dargestellten Ausführungsbeispiele nicht ein, weshalb die für den Ventilteller in Frage kommenden Werkstoffe hier näher aufgeführt 15 werden sollen. Zunächst kommt grundsätzlich auch Ventilstahl für den Ventilteller in Betracht. In diesem Zusammenhang sei für den Ventilteller eines thermisch höher beanspruchten Auslaßventils ein Ventilstahl (E) mit der Bezeichnung X50CrMnNiNb21_9 oder 1.4882 und für ein Einlaßventil ein Ventilstahl (F) mit der Bezeichnung X45CrSi9_3 oder 1.4718 erwähnt, die sich – abgesehen von Eisen – folgendermaßen zusammensetzen (Angaben in Gewichtsprozent):

Stahl (E): 0,5% C, 21% Cr, 9% Mn, 4% Ni, je 2% Nb und W.

Stahl (F): 0,45% Kohlenstoff, 9% Chrom, 3% Silizium.

[0024] Daneben ist es für thermisch weniger stark beanspruchte Einlaßventile denkbar, den Ventilteller aus einer Titan-Basislegierung herzustellen. Alle die bisher genannten Werkstoffe sind nicht nur umformbar, spangebend bearbeitbar und schweißbar, sondern auch in allen möglichen Halbzeugformen lieferbar. Titan-Basislegierungen sind überdies gießbar.

[0025] Die Verwendung von Stahl für den Ventilteller ist trotz seines vergleichsweise hohen spezifischen Gewichts 35 sowohl unter Gewichts- als auch unter Fertigungsaspekten durchaus erwägswert. Die Gewichtseinsparung wird bei der erfindungsgemäßen Ausgestaltung eines Leichtbauvents dann allein durch den hohen Ventilschaft erreicht, was auch schon beachtlich ist. Fertigungsmäßig ist aber bei 40 Stahl/Stahl-Ausführung des gebauten Leichtbauvents von Vorteil, daß durch diese Technologie nicht nur das prozeßtechnisch problematische und kostspielige Stauchen des Ventiltellers, sondern auch das kostenträchtige und zeitraubende Längsbohren des Ventilschaftes entfällt. Diese Vorteile gelten zwar auch für alle anderen Tellerwerkstoffe, zeigen sich aber eben auch bei Stahl als Tellerwerkstoff.

[0026] Neben den erwähnten Werkstoffen ermöglicht die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Leichtbauventile vor allem die Wahl von thermisch und mechanisch hoch belastbaren Leichtbauwerkstoffen, die entweder nicht schweißbar oder nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand umformbar sind. In diesem Zusammenhang seien Keramik, insbesondere Siliziumcarbid (SiC), sowie die intermetallische Phase Titanaluminid (TiAl) erwähnt. Diese Werkstoffe

55 sind im Sinterverfahren oder im Feingußverfahren endformnah zu Formkörpern verarbeitbar. Abgesehen von dem erfreulich geringen spezifischen Gewicht (SiC ca. 3,1 g/cm³; TiAl ca. 3,6 g/cm³) dieser hochfesten und temperaturbeständigen Leichtbaustoffe bieten sie auch den Vorteil einer ex-

tremen Verschleißbeständigkeit, so daß bei Ventiltellern aus diesen Stoffen auf eine Panzerung des tellerseitigen Ventilsitzes verzichtet werden kann. Eine solche Panzerung wäre bei den heutigen Erwartungen bezüglich der Ventil-Lebensdauer bei Stahl-Tellern oder solchen aus einer Titanlegierung erforderlich. Dieser Panzerungsvorgang ist aufgrund des aufzutragenden Werkstoffes und der prozeßsicher auftragbaren Werkstoffmengen nur sehr zeitraubend und nur mit vergleichsweise hohen Kosten durchführbar. Keramik-

ventile würden über diesen Kostenvorteil bei der Fertigung aufgrund ihrer besonders hohen Verschleißbeständigkeit auch noch den späteren Gebrauchsvorteil bieten, daß bei Motoren mit manuell einstellbarem Ventilspiel – heute überwiegend Motoren für Lastwagen, Busse oder Baumaschinen – die Spieleinstell-Intervalle deutlich vergrößert werden könnten oder daß bei Motoren mit selbsttätigem Ventilspiel-ausgleich – heute überwiegend Motoren für Personenwagen – die nicht ganz billigen und zahlreichen Spielausgleichselemente (meist vier Stück je Zylinder) u. U. entbehrlich sind und eingespart werden könnten.

[0027] Die zur Befestigung des Ventilschaftes dienende, weitestgehend zylindrische Mittenöffnung 20 des Ventiltellers geht axial durch den ganzen Ventilteller 10, 10', 10" hindurch. Soweit die Ventilteller endformnah im Sinterverfahren oder im Feingußverfahren hergestellt werden, ist die Mittenöffnung 20 im Ventilteller zumindest angenähert zylindrisch ausgebildet und diesbezüglich im Sinne eines gußtechnischen Anzuges leicht konisch ausgebildet, wobei sich die Konizität der Mittenöffnung zur Flachseite 22 hin verjüngt. Am schaftseitigen Ende ist die Mittenöffnung durch eine rotationssymmetrische, achsenkrechte Schulter 21 begrenzt, an der der Ventilschaft mit einem Bund druckübertragend anliegt. Auf der vom Ventilschaft abgewandten Brennraumseite 22 des Ventiltellers ist am Ende der Mittenöffnung eine rotationssymmetrische Begrenzungskontur vorgesehen, die bei den dargestellten Ausführungsbeispielen als eingesenkte Erweiterung in Form eines Konus 23 (Fig. 1 oder 3a–3c) oder tulpenförmig (Vertiefung 23", Fig. 4a–4d) ausgebildet ist. Bei dem in Fig. 2 gezeigten Ausführungsbeispiel ist die brennraumseitige Begrenzungskontur der Mittenöffnung lediglich als Kantenverrundung 23' ausgebildet.

[0028] Der in die Mittenöffnung 20 unter radialer Vorspannung eingesteckte rohrförmige Ventilschaft besteht – wie erwähnt – aus einem korrosionsbeständigen, duktilen und schweißbaren Werkstoff. Er weist seinerseits einen die Einstechtiefe begrenzenden, an der tellerseitigen Schulter 21 anliegenden, achsenkrechten Bund oder eine axial am Schaft fixierte Buchse mit einer achsenkrechten Stirnseite 25 auf. Hierauf soll weiter unten im Zusammenhang mit den einzelnen Figuren noch näher eingegangen werden.

[0029] Das tellerseitige Ende des in die Mittenöffnung 20 eingesteckten Ventilschaftes ist am brennraumseitigen Ende der Mittenöffnung in einer die Erweiterung formschlüssig ausfüllenden oder die Flachseite 22 übergreifenden Weise aufgeweitet, derart daß der Ventilschaft gegen axiales Herausziehen aus dem Ventilteller formschlüssig gesichert ist. Durch Einschweißen – u. U. kommt auch ein hartes Einlöten in Betracht – eines formangepaßten, metallenen Stützkörpers 27 in das aufgeweitete Ende des rohrförmigen Ventilschaftes ist die Aufweitung in ihrer Form dauerhaft stabilisiert und der rohrförmige Ventilschaft tellerseitig gasdicht verschlossen. Durch eine solche Verbindungstechnik wird der Ventilteller 10 formschlüssig am Ventilschaftende dauerhaft befestigt, wobei die Befestigung sowohl in thermischer als auch in mechanischer Hinsicht ohne weiteres dynamisch stark belastet werden kann.

[0030] Bei diesem Fügen und Befestigen der Teile werden nur prozeßtechnisch unproblematische, d. h. sicher beherrschbare sowie rasch, einfach und kostengünstig durchführbare Verfahrensschritte eingesetzt, nämlich ein Steck- und Einpreßvorgang (Schaftende in Mittenbohrung), ein Reibschißvorgang, eine in der Reibschißmaschine integrierte Drehoperation (Fig. 3a–3c) oder ein lokal eng begrenztes Erwärmen, ein Einpressen einer Kugel in ein Rohr und ein Laserschißvorgang (Fig. 4a–4d). Hierauf soll weiter unten im Zusammenhang mit den einzelnen Ausfüh-

rungsbeispielen der Herstellungsverfahren noch einmal eingegangen werden.

[0031] Abgesehen von den bereits erwähnten Vorteilen, nämlich freie und jeweils gesonderte Wahl des Werkstoffs für die beteiligten Teilwerkstücke, Reduzierung des Fertigungsaufwandes und prozeßsicher beherrschbare, einfache Fügetechniken bietet die erfundungsgemäße Ausgestaltung des Leichtbauventils dem weiteren Vorteil eines ungestörten Werkstoffverlaufes des Ventilschaftes im Bereich des Überganges vom Schaft in den Ventilteller. Insbesondere ist an dieser festigkeitsmäßig etwas kritischen Übergangsstelle keine Schweißverbindung angeordnet. Vielmehr ist die im Zusammenhang mit der Verbindung von Schaft und Teller vorgesehene Schweißnaht an einer für die Festigkeit des Gesamtbauteiles völlig unkritischen Stelle vorhanden, nämlich im Bereich der Flachseite des Ventiltellers.

[0032] Zur weiteren Verbesserung der dynamischen Belastbarkeit der Verbindung ist in den Ventilschaft eine Dehnstrecke 29 integriert, die unterschiedliche Temperaturausdehnungen zwischen dem Ventilschaft einerseits und dem Ventilteller 10 andererseits kompensiert und/oder die eine axiale Vorspannung zwischen beiden Teilen zumindest teilweise aufrecht erhält. Auch hierauf soll weiter unten im Zusammenhang mit den einzelnen Ausführungsbeispielen näher eingegangen werden.

[0033] Nachdem die Gemeinsamkeiten der verschiedenen, abgebildeten Ausführungsbeispiele vorgestellt wurden, sollen die Figuren bezüglich des übrigen Offenbarungsgehaltes nachfolgend jeweils für sich erläutert werden.

[0034] Bei dem in Fig. 1 dargestellten Leichtbauventil 1 ist der Bund 24 des Ventilschaftes 11 durch spangebendes Abtragen einer größeren Wanddicke herausgearbeitet – Materialzugabe 28. Dieser Bund liegt druckübertragend an der tellerseitigen Schulter 21 an. Die zunächst zylindrische Mittenöffnung 20 des Ventiltellers erweitert sich am Ende konisch zur Flachseite 22 hin. In diese konische Erweiterung 23 greift das entsprechend aufgeweitete Ende des rohrförmigen Schafes 11 formschlüssig hinein. Die Aufweitung 26 des Schafendes ihrerseits ist durch einen konischen Stützkörper 27 in ihrer Form stabilisiert, der mittels einer der konischen Form der gegenseitigen Berührungsfläche folgenden Ringschiß 41 in der Aufweitung stoffschlüssig fixiert ist. Die Dehnstrecke 29 zur Kompensation unterschiedlicher Temperaturdehnungen und Aufrechterhaltung einer axialen Vorspannung ist bei diesem Ausführungsbeispiel auf die kurze Einstektlänge des Schafes 11 innerhalb der Mittenöffnung 20 beschränkt.

[0035] In Fig. 2 sind im oberen Teil links und rechts zwei verschiedene Varianten eines Ventilschaftes 12 bzw. 12' und somit zwei verschiedene Leichtbauventile 2, 2' dargestellt, die jedoch im Tellerbereich und bezüglich der Befestigung miteinander übereinstimmen.

[0036] Beim Leichtbauventil 2 nach Fig. 2 (linke Schaftvariante) ist an den Ventilschaft 12 ein Absatz 24' angearbeitet, der jedoch gegenüber der Einbaulage der Axialposition der tellerseitigen Schulter 21 axial zurückversetzt ist. Auf den Ventilschaft 12 ist eine Dehnbüchse 33 von entsprechender Länge spielfrei aufgeschoben, deren Stirnseite 25 die Funktion des druckübertragenden Bundes übernimmt. Der Ventilteller 10' bzw. dessen Schulter 21 stützen sich also mittelbar unter Zwischenfügung der Dehnbüchse 33 an dem Absatz 24' des Ventilschaftes 12 ab. Durch die Dehnbüchse und den konzentrisch in ihr steckenden, endseitigen Teil des Ventilschaftes ist eine "gefaltete" Dehnstrecke 29' von größerer Länge gebildet. Durch die Länge der Dehnbüchse 33 kann die Länge der Dehnstrecke 29' beeinflußt werden.

[0037] Die in Fig. 2 in der rechten Bildhälfte dargestellte Variante eines Ventilschaftes 12' (Leichtbauventil 2') stellt

eine Weiterentwicklung des links in Fig. 2 gezeigten Schaf-
tes 12 in soweit dar, als für diesen Ventilschaft 12' als Aus-
gangsmaterial ein zunächst glattes Rohr verwendet wird, auf
das zur Schaffung der Funktion eines Bundes – Stirnseite 25
– außenseitig an einer definierten Axialposition mittels
Ringschweißnaht 34 eine Dehnbüchse 33' angeschweißt ist.
Dadurch wird – ähnlich wie bei der in Fig. 2 linksseitig dar-
gestellten Variante – ebenfalls eine relativ lange, "gefaltete"
Dehnstrecke 29' gebildet.

[0038] Der untere Teil von Fig. 2 ist einheitlich für beide
Schaftvarianten; dort ist ein Ausführungsbeispiel zur form-
schlüssigen Befestigung des Ventilschaftes 12, 12' am Ven-
tilteller 10' gezeigt. Und zwar ist die endseitig auf der
Brennraumseite 22 angeordnete, rotationssymmetrische Be-
grenzungskontur der Mittenöffnung 20 des Ventiltellers 10'
lediglich durch eine Kantenverrundung 23' des Übergangs
von der Bohrungsleibung in die Flachseite 22 gebildet. Das
zunächst über die Flachseite 22 überstehende Ende des in
die Mittenöffnung eingesteckten Ventilschaftes ist über die
Kantenverrundung und die Flachseite napfartig aufgeweitet.
In diese Aufweitung 26' des Schaftendes ist ein scheibenar-
tiger Stützkörper 27' eingelegt und am Umfang mit der Wan-
dung der Aufweitung durch eine Ringschweißnaht 41' ver-
schweißt. Bei dieser Ausgestaltung der Befestigung des
Ventilschaftes am Ventilteller ist außerhalb desselben ein an
der Flachseite 22 anliegender, langzeitstabiler Kopf, besteh-
end aus der napfförmigen Aufweitung 26' und dem einge-
schweißten Stützkörper 27', gebildet, der den Ventilschaft
gasdicht verschließt und das Schaftende formschlüssig und
dynamisch stabil am Ventilteller fixiert. Diese Befestigungs-
art sei hier jedoch nur beiläufig und der Vollständigkeit hal-
ber erwähnt, weil die anderen, im Ventilteller versenkten lie-
genden Befestigungen nicht nur platzsparender, sondern
auch leichter sind und deshalb bevorzugt empfohlen wer-
den.

[0039] Nachfolgend sollen noch anhand der Bilderfolgen
der Fig. 3a bis 3c bzw. Fig. 4a bis 4d zwei verschiedene Ver-
fahren zur Befestigung des Ventiltellers am Ventilschaft er-
läutert werden, wobei die Ausgestaltung des Leichtbauven-
tiles 3 bzw. 4 selber sich jeweils eng an das Vorbild des
Leichtbauventiles 1 nach Fig. 1 anlehnt. Diese beiden Ver-
fahrensbeispiele zeigen zwei unterschiedliche, rasch durch-
führbare Schweißverfahren zum Fixieren des Stützkörpers
in der schaftseitigen Erweiterung, nämlich das Reibschi-
ßen (Fig. 3a bis 3c) oder das Laserschweißen (Fig. 4a bis
4d). Lediglich der Vollständigkeit halber sei auch das harte
Einlöten des Stützkörpers in die schaftseitige Erweiterung
erwähnt, wobei das Einlöten gegenüber dem Einschweißen
jedoch weder unter Fertigungsaspekten noch bezüglich der
Haltbarkeit vorteilhaft im Vergleich zum Schweißen ist.

[0040] Im Zusammenhang mit den beiden zeichnerisch in
verschiedenen Phasen angedeuteten Verfahrensvarianten sei
erwähnt, daß die beiden darin für die erforderlichen Fü-
gungsvorgänge eingesetzten Schweißverfahren – Reibschi-
ßen bzw. Laserschweißen – jeweils hochrationelle Schweißver-
fahren sind, die sich gut in eine Massenfertigung integrieren
lassen und die auch mit hoher Prozeßsicherheit beherrschbar
sind. Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß zur
Erhöhung der Produktivität Sondermaschinen eingesetzt
werden können, die in Rundtakt- (stehend) oder in Revol-
verbauart (liegend) ausgebildet sein können. Diese weisen
verschiedene Arbeitsstationen auf, die um eine Mittenachse
herum angeordnet sind. Durch solche hochproduktiven Son-
dermaschinen lassen sich nicht nur die Nebenzeiten wie
Einspannen oder Entnehmen des Werkstückes, sondern auch
andere notwendige Vorgänge wie Abdrehen des Stangenma-
terials (Fig. 3b), Erwärmern des Schaftendes (Fig. 4a) oder
Einpressen einer Kugel (Fig. 4c) in den unterschiedlichen

Arbeitsstationen gleichzeitig mit anderen Arbeitsoperatio-
nen durchführen und so die Taktzeit insgesamt deutlich reduzieren.

[0041] Bei dem durch die Bilderfolge der Fig. 3a bis 3c
veranschaulichten Verfahren wird ein Reibschißverfah-
ren eingesetzt. Demzufolge muß man sich die Teile in einer
Reibschißmaschine eingespannt vorstellen. Auf der einen
Seite – in den Fig. 3a bis 3c links dargestellt – ist der Ven-
tilschaft 11' mit dem endseitig unter radialem Vorspannung auf-
gesteckten Ventilteller 10 als vormontiertes Teil in ein dreh-
bar gelagertes und drehantreibbares, aber axial feststehen-
des Ventil-Spannfutter eingespannt. Axial gegenüberliegend
und koaxial fluchtend dazu – in den Fig. 3a bis 3c rechts dar-
gestellt – ist ein stangenförmiges Rundmaterial (Stützmate-
rial-Stange 36) in ein nicht drehbares Stangen-Spannfutter
35 eingespannt, welches aber axial mit vorgebbarer Kraft
und vorgebarem Hub verschiebbar ist. Das im Ausgangs-
zustand mehrere Meter lange Stangenmaterial besteht aus
einem mit dem Werkstoff des Ventilschaftes ähnlichen oder
u. U. sogar übereinstimmenden Werkstoff. Die nach rechts
jenseits des Stangen-Spannfutters überstehende Stützmate-
rial-Stange 36 muß durch mehrere, axial beabstandete Lü-
netten so abgestützt werden, daß die Stützmaterial-Stange
beim Abtrennen des fertigen Werkstücks vom Vorratsma-
terial 36 durch eine spanabhebende Drehoperation bei geöff-
netem Stangen-Spannfutter mit dem Werkstück annähernd
unwuchtfrei mitlaufen kann. Zur Bewerkstelligung der ge-
nannten Drehoperation sind in der Reibschißmaschine
ferner zwei separate Werkzeugschlitten integriert, die die
von ihnen jeweils getragenen Drehwerkzeuge (Abstech-
Drehmeißel 37 und Formdrehmeißel 37') exakt nach einem
voreingebenen Bewegungsprogramm automatisiert verfah-
ren können.

[0042] Bei dem in den Fig. 3a bis 3c dargestellten Verfah-
ren Beispiel ist für einen neuen Schweißvorgang an das
werkstück-zugekehrte Ende der Stützmaterial-Stange 36 ein
kurzer Zentrierzapfen angearbeitet, der dem Innendurch-
messer des Ventilschaftes 11' entspricht. Das in die Mitten-
öffnung 20 des Ventiltellers eingesteckte Ventilschaftende
steht an der Flachseite 22 axial um ein gewisses Maß über.
Dieser Überstand dient als Modellierwerkstoff zum Auffüllen
der in den Ventilteller axial eingesenkten, konischen Er-
weiterung 23 der Mittenöffnung.

[0043] Zum Reibschißen wird das vorbereitete Ende
der vom Stangen-Spannfutter 35 verdrehfest aber axialbe-
weglich gehaltenen Stützmaterial-Stange 36 axial in das
ortsfest rotierende Ende des Ventilschaftes 11' mit zunächst
noch mäßiger Axialkraft eingepreßt, wobei der nahe der
Kontaktzone liegende Werkstoff beider Teile sich reibungs-
bedingt erwärmt und dabei erweicht – Zustand gemäß Fig.
3a. Unter der axialen Anpreßkraft gibt vor allem das er-
weichte rohrförmige Ende des Ventilschaftes nach, weil hier
massenbedingt die Erwärmung und Erweichung stärker ist als
auf Seiten der Stützmaterial-Stange 36, die axial etwas we-
niger nachgibt. Bei dem axialen Nachgeben wird die zu-
nächst stufenförmig ausgebildete Kontaktzone der Teile
mehr und mehr in eine konische Verlaufsform verwischt und
dabei der Werkstoff des rohrförmigen Schaftendes gestaucht
und vor allem radial nach außen gedrängt, wobei die koni-
sche Erweiterung 23 zumindest partiell ausgefüllt wird. Ist
dann eine für das Schweißen geeignete Temperatur und in
der Kontaktzone der Teile ein teigiger Zustand erreicht, so
wird der rotierende Ventilschaft sehr rasch stillgesetzt und
zugleich die Axialkraft erhöht und die Stützmaterial-Stange
um einen gewissen Axialhub in den Ventilschaft hineinge-
preßt. Dabei verschweißen die Teile an der Kontaktzone innig
miteinander. Zugleich wird die konische Erweiterung 23
durch das radial verdrängte Material unter Bildung einer

Aufweitung des Schaftendes und eines eingeschweißten Stützkörpers 27" vollständig ausgefüllt – Zustand gemäß Fig. 3b.

[0044] Allgemein gilt für das Reibschiessen, daß ein Reibschiessvorgang zum einen in sehr kurzer Taktzeit durchführbar ist, daß zum anderen durch das Reibschiessen sehr unterschiedliche Paarungen von Werkstoffen zuverlässig verbunden werden können und daß vor allem – wenn einmal die auf einen konkreten Anwendungsfall bezogenen Prozeßparameter durch vorherige Optimierungsversuche gefunden und an der Reibschiessmaschine eingestellt sind – dieser Schiessvorgang mit hoher Zuverlässigkeit und Prozeßsicherheit auch bezüglich der Schweißqualität und der Maßhaltigkeit der Fügestelle reproduziert werden kann.

[0045] Beim Reibschiessvorgang wird das Ventilschaftende sehr schnell auf Schweißtemperatur angewärmt, wobei die Wärme u. a. auch in die Rohrwandung des in der Mittenöffnung steckenden Ventilschaftendes hineinfließt, so daß auch dieser Teil des Ventilschaftes auf relativ hohe Temperaturen erwärmt wird. Demgegenüber bleibt der vom Ventilschaft durch einen Fügespalt getrennte Ventilteller relativ kühl, weil der Fügespalt eine Barriere für den Wärmefluß darstellt. Nach Beendigung der Reibschiessung ist also das Ventilschaftende sehr heiß, wogegen der Ventilteller vergleichsweise kühl ist. Durch die Abkühlung nach dem Schiessen schrumpft das Ventilschaftende thermisch, wodurch sich in der Fügestelle eine hohe axiale Vorspannung aufbaut, was im Sinne eines sicheren Festhaltens des Ventiltellers am Schaftende trotz unterschiedlicher Erwärmungen und/oder unterschiedlicher Temperaturdehnungen der beteiligten Fügepartner durchaus erwünscht ist. Diese axiale Vorspannung zwischen Ventilteller und Schaftende kann dadurch noch erhöht werden, daß der Ventilteller während des Reibschiessens in der Spannvorrichtung unter hoher axialer Druckspannung gehalten wird.

[0046] Nach Fertigstellung der Reibschiessverbinding muß die Stützmaterial-Stange noch von dem entstandenen Leichtbauventil 3 abgetrennt werden, was durch die in die Reibschiessmaschine integrierten Drehwerkzeuge bzw. die zugehörigen Werkzeugschlitten erfolgt, wobei die in Fig. 3b strichpunktiert angedeutete Kontur spanabhebend erzeugt wird. Für diese Drehoperation wird das Stangen-Spannfutter 35 geöffnet und axial von dem Ventilteller weggerückt, so daß die Schweißstelle frei liegt und für die Drehwerkzeuge 37, 37' zugänglich ist. Dieses Freigeben der Schweißstelle und In-Bereitschaft-Fahren der Drehmeißel geht sehr rasch vor sich, so daß die Drehoperation noch vor einem Abkühlen der Schweißstelle einsetzen kann. Dadurch wird die Prozeßwärme des Schiessvorganges, also ein gewisser Erweichungszustand des Materials, für die Drehoperation ausgenutzt, was zum einen einen erheblich höheren Vorschub als bei kaltem Werkstoff und somit kürzere Drehzeiten ermöglicht und was zum anderen höhere Standzeiten für die Schneiden der Drehmeißel eröffnet.

[0047] Das in diesem Stadium (Fig. 3b) aus Ventilschaft 11', Ventilteller 10 und Stützmaterial-Stange 36 bestehende Zwischen-Werkstück wird von dem drehantreibbaren und axial ortsfesten Ventil-Spannfutter in Drehung versetzt, wobei die mitrotierende Stützmaterial-Stange in den erwähnten Lünetten gehalten ist. Durch den Abstech-Drehmeißel 37 wird zunächst der Umfang eines neuen Zentrierzapfens am neuen Ende der Stützmaterial-Stange bearbeitet und anschließend in einem axial benachbart liegenden Radialhub des Abstech-Drehmeißels die Stützmaterial-Stange von dem Leichtbauventil getrennt, wobei zunächst ein kantiger Stumpf im Zentrum der Flachseite 22 zurückbleibt. Die vom Ventil-Werkstück getrennte Stützmaterial-Stange wird wieder in dem Stangen-Spannfutter festgeklemmt, wobei – z. B.

unter Mitwirkung eines der Drehwerkzeuge – eine definierte Axialposition des bearbeiteten Stangenendes herbeigeführt wird. Der zentralisch an der Flachseite des Ventiltellers zurückgebliebene Stumpf kann durch den Formdrehmeißel 37' linsenförmig überdreht werden – Zustand gemäß Fig. 3c. Das fertige Leichtbauventil 3 kann der Reibschiessmaschine entnommen und eine neue vormontierte Einheit eingesetzt werden, so daß ein neuer Reibschiessvorgang beginnen kann.

[0048] Der Vollständigkeit halber sei noch eine Variante des voraufgehend geschilderten Verfahrens erwähnt. Und zwar ist es denkbar, anstelle einer langen Stützmaterial-Stange nacheinander für jeden Reibschiessvorgang jeweils einen neuen kurzen Rohling für einen Stützkörper in das Stangen-Spannfutter 35 einzusetzen, wobei die Länge dieses Stützkörper-Rohlings ausreichend groß sein muß, um ihn sicher im Spannfutter festzuhalten und die aufzubringenden Axialkräfte schlupffrei übertragen zu können. Die aus Gründen des sicheren Festspannens erforderliche Überlänge des Rohlings kann nach dem Reibschiessen wie in dem oben geschilderten Verfahren mit dem Abstech-Drehmeißel 37 vom Ventil-Werkstück in einer Drehoperation abgetrennt und der zurückbleibende Stumpf mit dem Formdrehmeißel 37' linsenförmig überdreht werden.

[0049] In den Fig. 4a bis 4d sind vier Phasen eines weiteren Fügeverfahrens für ein zusammengesetztes Leichtbauventil 4 dargestellt, bei dem ein kugelförmiger Stützkörper 27" verwendet wird und dementsprechend die im Ventilteller 10" bzw. in der Mittenöffnung 20 endseitig angebrachte Erweiterung 23" tulpenförmig mit einem zunächst kugelförmigen und einem axial anschließenden zylindrischen Abschnitt ausgebildet ist. Statt des Zylinders ist hier auch eine leicht konische Erweiterung denkbar. Das in die Mittenöffnung unter radialem Vorspannung eingesteckte Ende des Ventilschaftes 11" steht gegenüber der Flachseite 22 des Ventiltellers etwas zurück und ist zur besseren Einführung und Zentrierung der Kugel 27" nach innen konisch gesenkt.

[0050] Die Vorrichtung zur Ausübung des Fügeverfahrens nach der Bilderfolge der Fig. 4a bis 4d ist im Prinzip eine Laserschiessmaschine, in die eine kleine, automatisierbare Presse integriert ist oder umgekehrt eine Presse mit integrierter Laserschiesseinrichtung. In einem Tisch der Vorrichtung ist ein drehantreibbares Spannfutter zur stehenden Aufnahme einer vormontierten, aus Ventilschaft 11" und Ventilteller 10" bestehenden Werkstückeinheit angeordnet, in welchem dieses bei definierter Axialposition und axial formschlüssiger Abstützung gehalten wird. Durch das Spannfutter brauchen während des Fügevorganges keine großen Drehmomente übertragen zu werden, weshalb hier eine einfache elastische Klemmung des Ventilschaftes bei genauer Zentrierung in Betracht kommen kann. Zur Steigerung der Produktivität ist auch die Verwendung eines Folgerwerkzeuges mit mehreren Arbeitsstationen in der verfahrensausübenden Vorrichtung oder eine Rundtaktmaschine denkbar.

[0051] Vorbereitend für einen Fügevorgang wird das in die tulpenförmige Erweiterung 23" hineinragende Ende des Ventilschaftes 11" auf Umform- oder Schmiedetemperatur erwärmt, wofür bei dem in Fig. 4a dargestellten Ausführungsbeispiel ein Brenner 38 eingesetzt ist. Statt dessen kann das Erwärmen auch mit einem defokussierten Laserstrahl oder – im Fall eines magnetisierbaren Schaufelwerkstoffes – auf induktive Weise mittels eines an die Flachseite 22 angelegten Induktors erfolgen. Durch den Brenner wird der Ventilschaft endseitig nicht nur relativ rasch auf Umformtemperatur erwärmt, sondern der übrige in der Mittenöffnung steckende Endbereich wird durch metallische Wärme-

leitung ebenfalls relativ stark erwärmt, wobei sich dieser Teil thermisch dehnt. Demgegenüber bleibt der Ventilteller 10" aufgrund des Kontaktspaltes relativ kühl. Während der Erwärmung des Schaftendes wird die Werkstückeinheit 10"/11" bei mäßiger Geschwindigkeit gedreht, so daß die eingeleitete Wärmeenergie gleichmäßig über den Umfang verteilt wird.

[0052] Sobald die Umformtemperatur in dem frei in die tulpenförmige Erweiterung 23" hineinragenden Teil des Schaftendes erreicht ist, wird eine Kugel 27" gleichachsig zum Ventilschaft in Bereitschaft gebracht (Fig. 4b) und durch einen Pressenstempel in das erwärmte und erweichte Schaftende eingepreßt. Aufgrund der nach innen gerichteten konischen Anschrägung der Stirnseite des Schaftendes wird die Kugel zentriert und gleitet aufgrund der Einpreßkraft unter Aufweitung des rohrförmigen Schaftendes in dieses hinein. Dabei wird die Wandung in Umfangsrichtung gedeckt und im übrigen im Querschnitt in die der Erweiterung 23" und der Kugelform entsprechende tulpenförmige Aufweitung 26" umgeformt (Fig. 4c). Anschließend wird in einem weiteren in Fig. 4d angedeuteten Schritt der kugelförmige Stützkörper 27" durch eine ringförmige Laserschweißnaht 41" in der tulpenförmige Aufweitung langzeitstabil und dynamisch belastbar fixiert. Bei dem Schweißvorgang wird das Leichtbauventil 4 langsam um 360° oder etwas mehr gedreht und dadurch die Schweißnaht 41" an dem ortsfesten Laserschweißkopf 39 entlanggeführt.

[0053] Die sich durch den Einsatz von Leichtbauventilen der erfundungsgemäßen Art in Verbrennungskraftmaschinen ergebenden Gebrauchs vorteile sind folgende: Aufgrund des geringeren Ventilgewichtes können schwächere Ventilfedern verwendet werden, so daß aufgrund dieser beiden Kriterien sich die Ventile mit wesentlich geringerem Kraftaufwand betätigen lassen. Dies äußert sich darin, daß der Motor nicht nur leiser läuft, sondern auch weniger Kraftstoff verbraucht (ca. 0,2 Ltr./100 km), und daß der Motor drehfreudiger ist und dadurch bei der maximal möglichen Drehzahl etwas mehr Leistung entfaltet.

Patentansprüche

40

1. Mehrteilig zusammengesetztes Ventil für Hubkolbenmaschinen, mit einem Ventilschaft aus einem schweißbaren und warmfesten Werkstoff und einem Ventilteller, welche Ventileite sowohl in Druck- als auch in Zugrichtung auf rein formschlüssige Weise dauerhaft miteinander verbunden sind, indem der Ventilteller mit einer axial durchgehenden Mittenöffnung zur Aufnahme des tellerseitigen Ventilschaftendes und mit einem Bund oder einer ringförmigen Anlagefläche des Mittenöffnungrandes versehen ist, welcher Bund an einer der Einstektkiefe begrenzenden Schulter des in die Mittenöffnung eingesteckten Ventilschafts anliegt, indem ferner das tellerseitige Ende des Ventilschaftes an oder in der brennraumseitigen Begrenzungskontur der Mittenöffnung in einer die Begrenzungskontur formschlüssig übergreifenden und/oder ausfüllenden Weise aufgeweitet ist, gekennzeichnet durch eine Leichtbauweise des Ventils mit einem massiven Ventilteller (10, 10', 10") und einem aus einem Rohrhalbzug gebildeten, rohrförmigen Ventilschaft (11, 11', 11", 12, 12'), der an dem dem Ventilteller (10, 10', 10") gegenüberliegenden Ende durch ein angeschweißtes Ventilschaftstück (18) einerseits verschlossen ist, wobei die tellerseitige Aufweitung (26, 26', 26") des Endes des rohrförmigen Ventilschaftes (11, 11', 11", 12, 12') durch einen in die Aufweitung (26, 26', 26") eingeschweißten oder hart eingelöteten, formangepaßten

Stützkörper (27, 27', 27", 27'') in ihrer Form dauerhaft stabilisiert sowie fixiert und der rohrförmige Ventilschaft (11, 11', 11", 12, 12') tellerseitig gasdicht verschlossen ist.

2. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der rohrförmige Ventilschaft (11, 11', 11", 12, 12') in die Mittenöffnung (20) des Ventiltellers (10, 10', 10") unter radialer Vorspannung eingesteckt ist.
3. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die brennraumseitige Begrenzungskontur (23, 23', 23'') der Mittenöffnung (20) als rotationssymmetrische Erweiterung des brennraumseitigen Endes der Mittenöffnung (20) ausgebildet ist.
4. Ventil nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Erweiterung (23) der Mittenöffnung (20) konisch ausgebildet ist.
5. Ventil nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Erweiterung (23') der Mittenöffnung (20) tulpenförmig mit einem zunächst kugelförmigen und einem axial anschließenden zylindrischen oder konischen Abschnitt ausgebildet ist.
6. Ventil nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der in die Erweiterung (23) der Mittenöffnung (20) eingeschweißte Stützkörper (27, 27') kegelstumpfförmig ausgebildet ist.
7. Ventil nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der in die Erweiterung (23') der Mittenöffnung (20) eingeschweißte Stützkörper (27'') als Kugel ausgebildet ist.
8. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der an der tellerseitigen Schulter (21) anliegende, achsenkrechte Bund (24) des rohrförmigen Ventilschaftes (11) aus dem Vollen einer größeren Wandstärke spanabhebend herausgearbeitet ist (Materialabtrag 28).
9. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in den Ventilschaft (11, 11', 11", 12, 12') eine unterschiedliche Temperatursausdehnungen zwischen dem Ventilschaft (11, 11', 11", 12, 12') einerseits und dem Ventilteller (10, 10', 10") andererseits kompensierende und/oder eine axiale Vorspannung zwischen beiden Teilen zumindest teilweise aufrechterhaltende Dehnstrecke (29, 29') integriert ist.
10. Ventil nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Dehnstrecke (29') durch eine rohrförmige, axial zwischen der tellerseitigen Schulter (21) und einer axialen, schaftseitigen Abstützung (Bund 24') oder Befestigung (Schweißnaht 34) zwischengefügte Dehnbüchse (33, 33') gebildet ist.
11. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ventilteller (10, 10', 10") aus einer Keramik besteht, insbesondere wenn das Leichtbauventil (1-4) als thermisch höher beanspruchtes Auslaßventil verwendet werden soll.
12. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ventilteller (10, 10', 10") aus der intermetallischen Phase Titanaluminid (TiAl) besteht, insbesondere wenn das Leichtbauventil (1-4) als thermisch höher beanspruchtes Auslaßventil verwendet werden soll.
13. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ventilteller (10, 10', 10") aus einem Ventilstahl, vorzugsweise einem solchen der Bezeichnung X50CrMnNb21_9 oder 1.4882 mit 0,5 Gew.-% Kohlenstoff, 21 Gew.-% Chrom, 9 Gew.-% Mangan, 4 Gew.-% Nickel, je 2 Gew.-% Niob sowie Wolfram und Rest Eisen besteht, insbesondere wenn das Leichtbauventil (1-4) als thermisch höher beanspruchtes Auslaßventil verwendet werden soll.

14. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß der Ventilteller (10, 10', 10'') aus einer Titan-Basis-
legierung besteht, insbesondere wenn das Leichtbau-
ventil (1-4) als thermisch weniger beanspruchtes Ein-
laßventil verwendet werden soll. 5

15. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß der für ein thermisch weniger stark beanspruchtes
Einlaßventil bestimmte Ventilteller (10, 10', 10'') aus
einem Stahl, vorzugsweise einem solchen der Bezeich-
nung 1.4718 oder X45CrSi9_3 mit 0,45 Gew.-% Koh-
lenstoff, 9 Gew.-% Chrom, 3 Gew.-% Silizium und
Rest Eisen besteht. 10

16. Ventil nach einem der Ansprüche 11 bis 14, da-
durch gekennzeichnet, daß die Mittenöffnung (20) im
Ventilteller (10, 10', 10'') in dem axial zwischen der
Anlageschulter (21) und der Erweiterung (23, 23', 23'')
liegenden Teil im Sinne eines gußtechnischen Anzuges
leicht konisch ausgebildet ist, wobei die Öffnung sich
zur Flachseite (22) des Ventiltellers (10, 10', 10'') hin
verjüngt. 15 20

17. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß der für ein thermisch stärker beanspruchtes Aus-
laßventil bestimmte Ventilschaft (11, 11', 11'', 12, 12')
aus einem hochwarmfesten Chrom/Nickel-Stahl be-
steht. 25

18. Ventil nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet,
daß der Ventilschaft (11, 11', 11'', 12, 12') aus einem
Ventilstahl der Bezeichnung 1.4571 oder
X6CrNiMo_17_12_2 mit 0,06 Gew.-% Kohlenstoff,
17 Gew.-% Chrom, 12 Gew.-% Nickel, 2 Gew.-% Mo-
lybdän und Rest Eisen besteht. 30

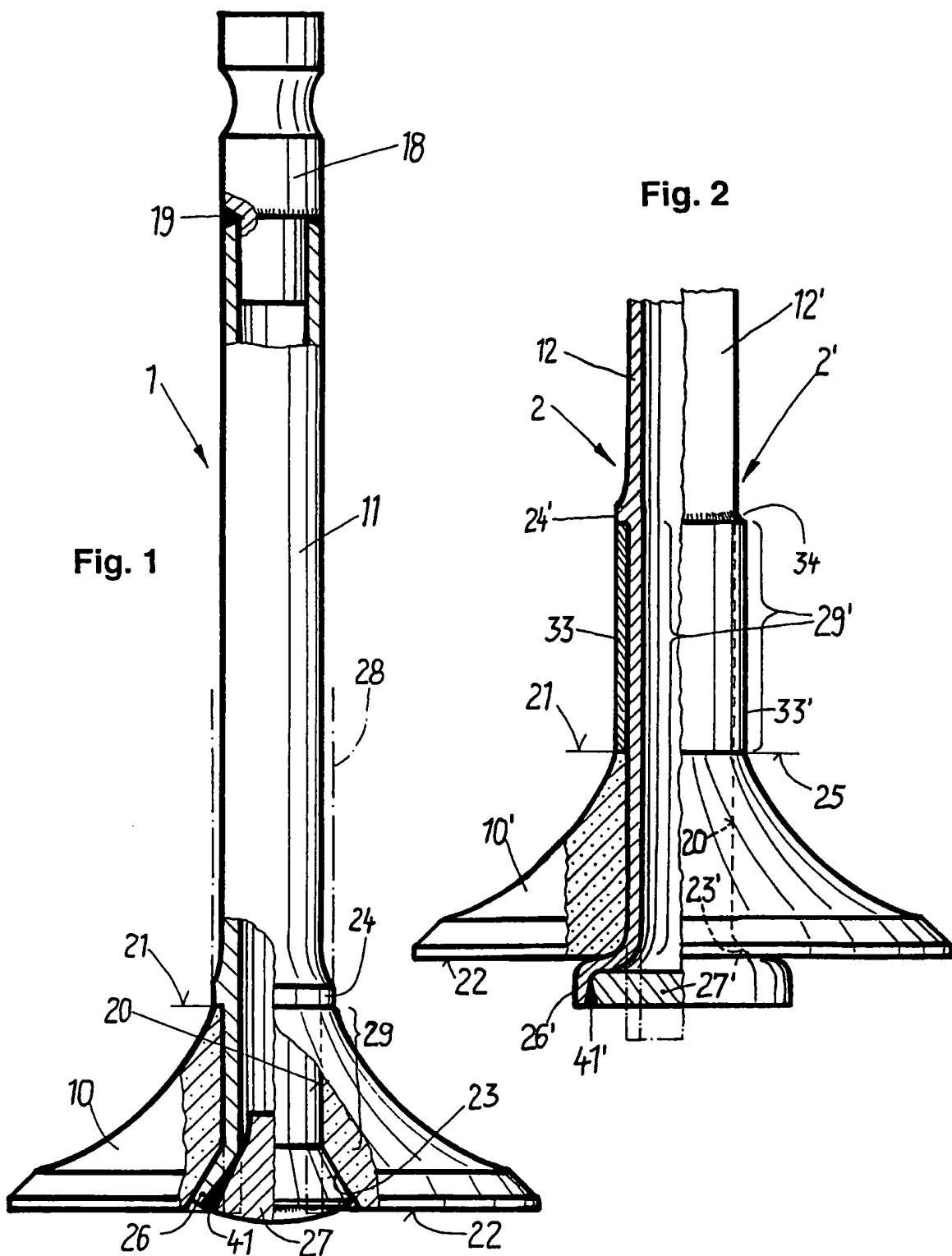
19. Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß der für ein thermisch weniger stark beanspruchtes
Einlaßventil bestimmte Ventilschaft (11, 11', 11'', 12,
12') aus einem korrosionsbeständigen Stahl besteht. 35

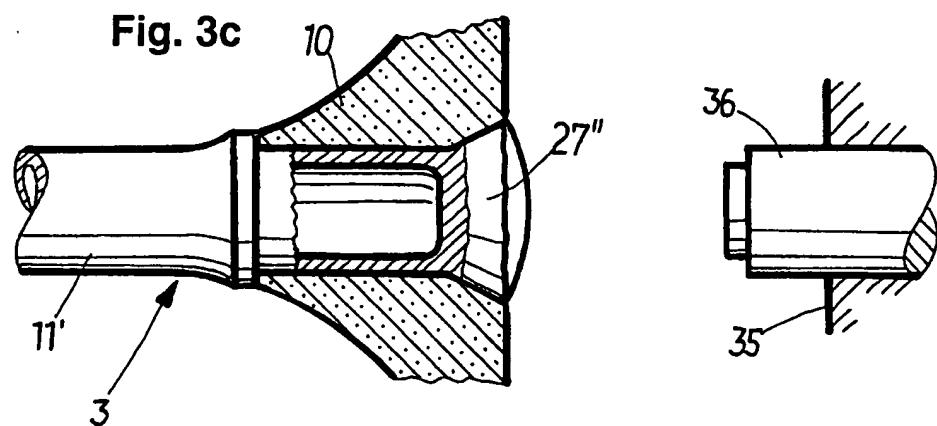
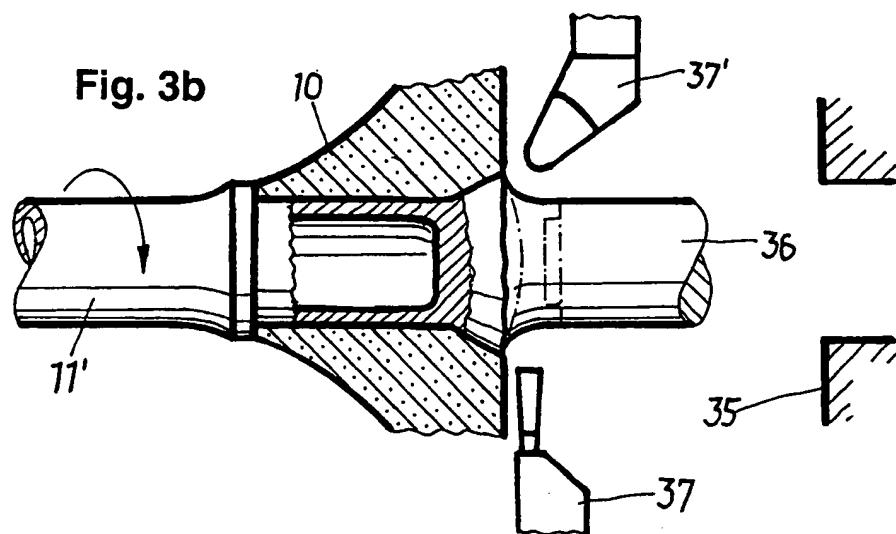
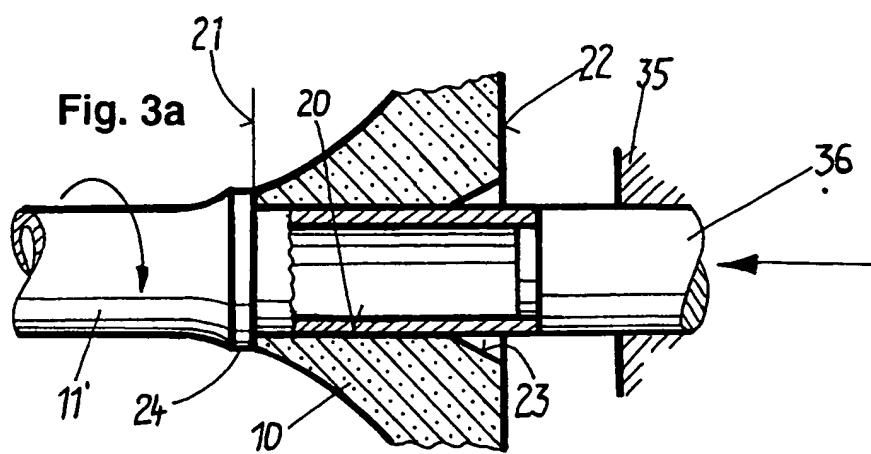
20. Ventil nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet,
daß der Ventilschaft (11, 11', 11'', 12, 12') aus einem
Stahl der Bezeichnung 1.4006 oder X10Cr13 mit
0,10 Gew.-% Kohlenstoff, 13 Gew.-% Chrom und Rest
Eisen besteht. 40

21. Ventil nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet,
daß der Ventilschaft (11, 11', 11'', 12, 12') aus einem
Stahl der Bezeichnung 1.4113 oder X6CrMo171 mit
0,06 Gew.-% Kohlenstoff, 17 Gew.-% Chrom, 1 Gew.-
% Molybdän und Rest Eisen besteht. 45

22. Ventil nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet,
daß der Ventilschaft (11, 11', 11'', 12, 12') aus einem
Stahl der Bezeichnung 1.4301 oder X8CrNi18_10 mit
0,08 Gew.-% Kohlenstoff, 18 Gew.-% Chrom,
10 Gew.-% Nickel und Rest Eisen besteht. 50

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen





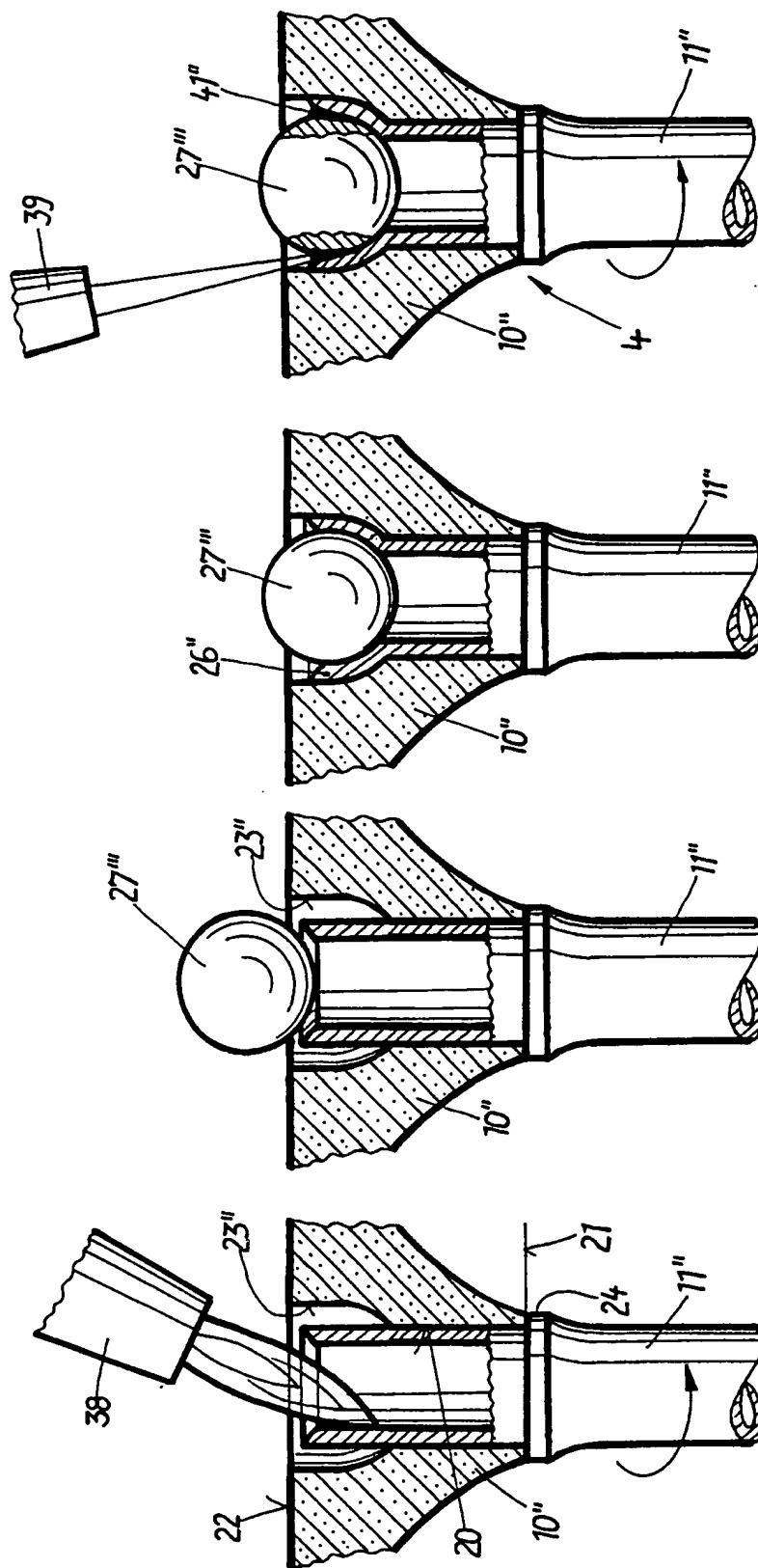


Fig. 4d

Fig. 4c

Fig. 4b

Fig. 4a